

디지털 도어록 혼류공정 최적화 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 연구

윤철호^{1*}, 유기훈², 이인철¹, 변의석¹
¹선문대학교 산업경영공학과, ²아주대학교 대학원 산업공학과

A Simulation Study for Analyzing Digital Doorlock Mixed Assembly Process

Cheol-Ho Yoon^{1*}, Ki-Hoon Ryu², In-Cheol Lee¹ and Eui-Seok Byun¹

¹Department of Industrial and Management Engineering, SunMoon University

²Department of Industrial Engineering, The Graduate School of AJou University

요약 본 논문에서는 디지털 도어록 혼류 조립 공정에서의 시뮬레이션 분석모델을 제안한다. 이 모델의 목적은 디지털 도어록 생산 공정 설계에 있어서 여러 대안의 성능에 대해 평가하는 것이다. 시뮬레이션 모델을 개발하기 위하여 먼저 시간연구가 수행되었다. 동시에 ARENA 시뮬레이션 도구를 이용하여 공정분석을 수행하였다. 그 결과 현재의 디지털 도어록 혼류 생산 공정은 여러 품종의 수요 증가에 적절한 생산방식을 제공하지 못한다는 문제점을 발견하였고 이를 개선하기 위한 대안을 제안하였다.

Abstract This paper introduces a simulation model regarding the process analysis of a digital doorlock mixed assembly process. The objective of the simulation model is to evaluate the performance of various design aspects of process alternatives. To develop the simulation model, a time study is performed for each process. Next, by using ARENA, a simulation model is conducted based on the process analysis and the line balancing methodology. We found out several problems for mixed assembly process, and then suggest several alternatives to improve the system.

Key Words : Simulation Model, Digital Doorlock Mixed Assembly Process, Productivity, Time Study, Arena

1. 서론

1.1 연구 배경

국내의 디지털 도어록 산업은 국제 특허기술인 플로팅 ID 방식 암호화기술 등을 바탕으로 내수뿐만 아니라 중국을 위시한 해외시장 공략에 나서고 있을 정도로 경쟁력이 있는 산업이다.

그러나 디지털 도어록은 크기, 부품의 구성 등이 모델에 따라 매우 상이하며, 이에 따라 생산라인을 어떤 방식으로 구성할 것인가가 생산성과 원가에 직접적인 큰 영향을 미친다. 특히 이 제품은 제품의 성격상, 수요변동이 크고 다품종 소량방식에 의해 생산이 진행되기 때문에 일일 생산에 있어서 다양한 모델이 생산되어야 하므로

작업자들이 이 라인 저 라인으로 이동하는 등 전체적인 생산성이 매우 낮으며, 이는 제조원가를 높이는 결과를 초래한다.

따라서 향후 디지털 도어록 산업이 국가 경쟁력을 확보하기 위해서는 가장 최적화된 생산조립 공정을 시급하게 설계해야 하는 어려움에 처해 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 이 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용하여 혼류생산라인의 최적화 설계를 실시하고자 한다.

이것은 향후 국내 디지털 도어록 생산업체에 널리 확산 적용하여 해당 산업의 국가 경쟁력을 높이는 데 일조할 것으로 기대한다.

본 과제의 목표를 달성하기 위해서는 다음의 두 가지

*교신저자 : 윤철호(yoonch@sunmoon.ac.kr)

접수일 09년 01월 14일

수정일 09년 06월 19일

계재확정일 09년 07월 22일

가 수행되어야 한다.

첫째, 디지털 도어록 생산 조립공정의 공정생산능력 밸런스 확보

둘째, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 혼류생산라인 최적화 설계 및 프로그램 개발

1.2 연구 방법론

디지털 도어록 조립 공정의 적정 생산 능력을 평가하는 방법론으로 시뮬레이션 기법을 이용하기로 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 도구 중 현재 학계 및 산업계에 서 활용도가 높은 Arena를 이용하기로 한다[3].

공정의 생산성을 높이기 위한 시뮬레이션 연구에서 사용되는 연구방법론은 매우 다양하나 크게 2가지를 열거 할 수 있다.

첫째는, 기존 공정의 개선안을 설정하여 이에 대해 시뮬레이션을 수행하는 방법이다[2,5]. 예를 들면 개선안과 각각의 개선안의 수준을 열거하고 이에 대한 모든 경우의 수를 실험계획법에 의거, 실험 수를 설계하여 대안들의 조합에 대한 주 효과를 반복 실험을 통해 도출하는 것이다. 둘째는 기존의 공정에 대해 시뮬레이션 모델을 개발하고 모델의 입력변수, 의사결정규칙 등의 파라미터에 대해 민감도분석을 수행해 나가면서 최적안을 도출하는 것이다[1,3].

디지털 도어록 조립 생산라인을 모델링하기 위해 국내의 중견 디지털 도어록 생산업체를 대상으로 정하였다.

시뮬레이션의 모델링에 소요되는 기본 데이터를 획득하기 위해 생산현장에서 시간 연구법, Man - Machine

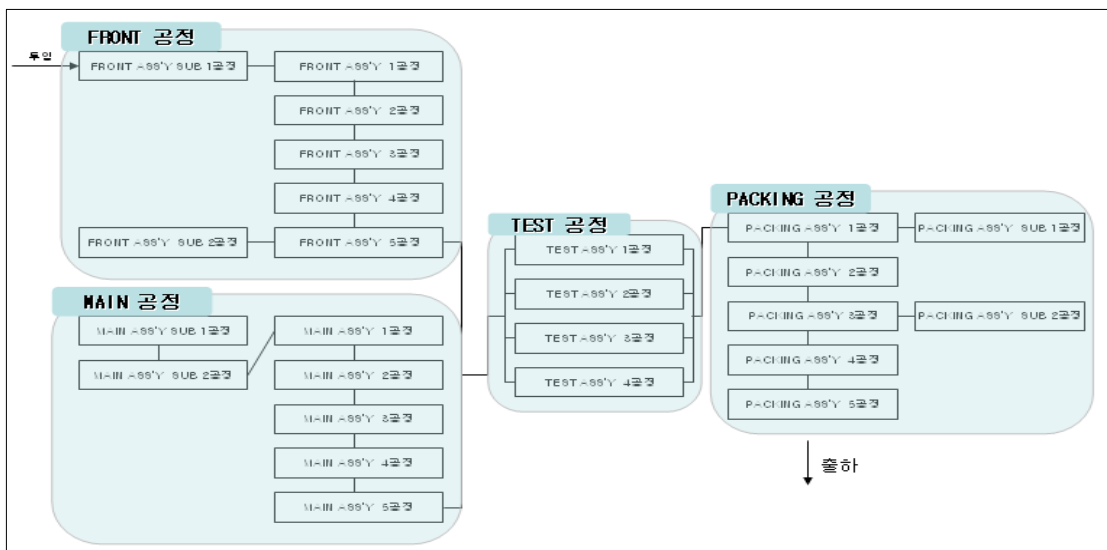
Chart, Line Balancing, Plant Layout기법 등에 의해 데이터를 수집하였다[6]. 연구에 사용되는 데이터는 기업의 기술보호를 위해 적절하게 가공되었다.

2. 시뮬레이션 개요

2.1 공정개요

현재 생산되고 있는 제품의 수는 10가지이다. 이 중 분석대상을 전체 생산량의 90%를 차지하는 7개 제품으로 한정해서 모델링 및 시뮬레이션을 실시한다. 제품을 종류별로 구분하면 Smart, XP, Prav, Prav2, G3, G7, Mb740 총 7가지이다. 각 제품별 공정순서는 유사하며 다만 공정소요시간은 제품별로 각기 다르다.

공정은 Front, Main, Test, Packing공정 총 4부문으로 나누어지고 현재 2개 라인(A,B)으로 구성되어져 있다. A 라인의 경우, Front 공정은 Sub공정 2개와 공정 5개로 구성된다. Main공정은 Front공정과 동일하다. Test공정은 4개의 공정으로 분류되어 지고 Packing공정은 Sub 2개와 공정 4개로 분류된다. 총 작업자는 25명이다. B라인에서는 Smart와 Mb740만이 생산된다. 작업자는 두개의 라인을 담당한다. 월별 제품 생산량은 정해져 있으며 하나의 제품이 생산되기 시작하면 다른 제품은 생산할 수 없다. 생산가동 후 정해진 생산량이 출하가 되면 준비 교체 작업시간을 갖게 되고 그 후 다음 제품을 생산을 하게 된다. 전술한 공정도를 정리하면 그림 1과 같다.



[그림 1] 공정도

2.2 작업내용

각각의 공정에 대해 기계, 작업자의 작업을 중심으로 Man - Machine Chart 및 시간 연구법을 이용하여 공정별 표준요소작업, 작업별 표준작업시간을 설정하였다. 이 자료는 컴퓨터 시뮬레이션을 실행하기 위한 기본 자료로 활용된다.

2.3 시뮬레이션 모델링 설계

대상시스템의 공정은 2개 라인 총 8개의 공정으로 이루어져 있다. 작업의 흐름은 표준 작업 공정 순서에 따라 연속적으로 흐르는 흐름 생산 방식을 이루고 있다.

시뮬레이션의 효율성을 위하여 다음과 같은 기본사항을 가정하였다.

가. 작업에 대한 가정

B라인에서는 Smart와 Mb740만을 생산하고 나머지 제품은 A라인에서 생산된다. 한 라인에서 제품이 생산되면 다른 라인에서는 제품을 생산할 수 없다.

작업자는 제품 생산이 완료되면 준비교체 작업시간을 가진다. 작업완료 후 다음 제품이 현재 작업했던 기존라인이라면 30분의 교체 준비 작업시간을 가지고 다른 라인이라면 15분의 준비교체 작업 시간을 가지게 된다.

- Test-공정에서의 불량률은 5%로 하며 불량품은 100% 재작업공정에 투입된다.
- 작업자들은 오전 8시반 작업 개시하여 오후 21시까지 작업을 하게 되고 휴식시간을 제외한 10시간의 순작업을 하게 된다. 휴일을 제외한 월 24일 작업을 하게 되며 작업 시간 전 20분의 작업 준비시간이 소요된다. 공정소요 시간은 비디오 분석을 통한 표준 시간을 이용한다.
- 제품생산은 Smart, Prav, Mb740은 500개씩, 이외에는 1000개씩 생산한다.
- 재공품 재고는 익일 작업에 연속 투입한다.
- 기계여러의 발생빈도, 작업자의 여러처리시간은 삼각분포에 따르며 그 값은 시간 연구법에 따른 관측 자료를 이용한다.
- 시뮬레이션은 2개 라인 8개 공정 전체에 대해 연속적으로 수행한다.
- 시뮬레이션에는 Arena Ver. 10을 이용한다.

나. 초기 준비 시간 및 예비 시뮬레이션

본 시뮬레이션을 수행하기 이전에 시뮬레이션 수행 결과, 예를 들면 공정별 가동률, 재공품수, 출하 제품 수 등이 실제의 디지털 도어록 작업 공정을 충분히 묘사할 수

있게 되기까지 몇 차례의 예비 시뮬레이션을 통해 프로그램의 완성도를 높이는 노력을 사전에 행하였다.

시뮬레이션 수행에 있어서 각 프로세스별로 모델을 연결하기 위해 Leave와 Enter모듈을 이용하였다. 즉 각 프로세스는 Leave 모듈과 Enter 모듈에 의해 각 공정이 이어진다.

3. 시뮬레이션 결과

3.1 평가척도

본 연구는 수요변동이 불규칙한 혼류생산공정에서 공정능력을 극대화하기 위한 생산방식을 설계하는 것이 주목적이다. 따라서 시뮬레이션 결과의 평가척도로는 공정별 가동률 (scheduled utilization)을 주 평가척도로 설정하였다.

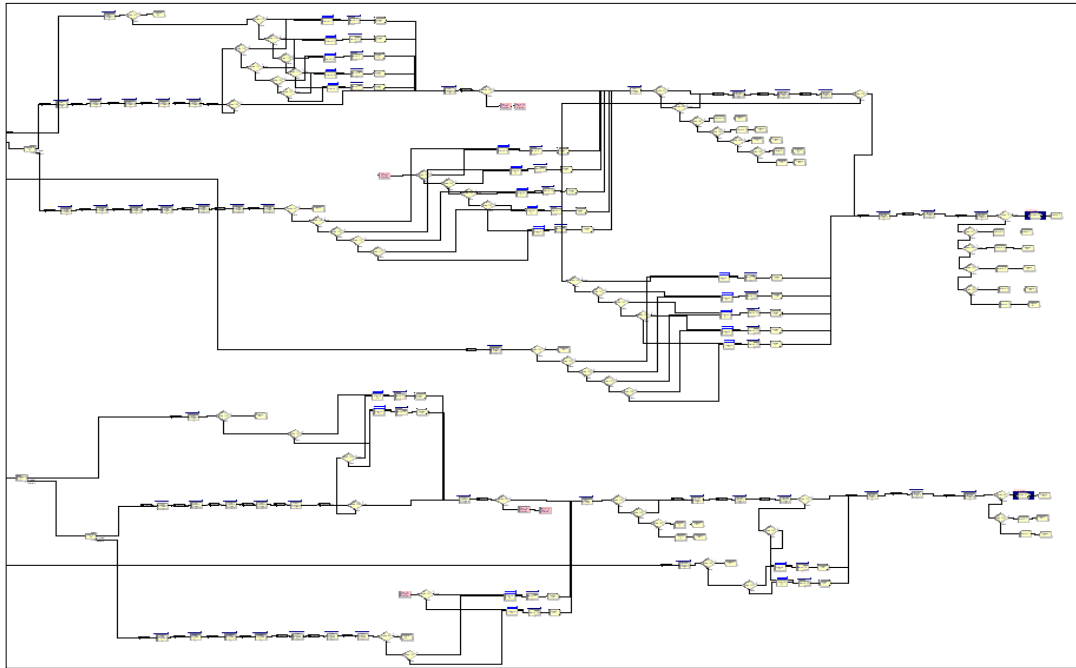
여기서 공정별 가동률이란 전체 가공시간에 비례해 각각의 공정이 실질적으로 얼마나 가동되었는지에 대한 수치를 나타낸다.

3.2 기존 공정에 대한 시뮬레이션 결과

그림2는 기존공정을 대상으로 모듈별로 개발한 시뮬레이션 모델이다. 그림2를 보면 기존 공정은 2개의 생산 라인을 운영하고 있음을 알 수 있다. 동시에 A라인이 B 라인에 비해 제품생산 측면에서 매우 활성화되어 있음을 알 수 있다. 표1은 기존공정에 대해 시뮬레이션을 실시한 결과중 가동률에 대한 결과이다. 여기서 공정별 가동률이 0.5이하이면 예로공정이라고 생각할 수 있으며 개선이 필요하다. Packing Sub 1, 2의 공정이 이에 해당하는 것을 알 수 있다.

[표 1] 기존공정 가동률

공정	가동률	공정	가동률
Front Sub1	0.4428	Main공정4	0.8007
Front Sub2	0.6504	Main공정5	0.9178
Front공정1	0.7759	Test공정1	0.8956
Front공정2	0.7108	Test공정2	0.8951
Front공정3	0.6182	Test공정3	0.8944
Front공정4	0.6220	Test공정4	0.8939
Front공정5	0.8239	Packing Sub 1	0.5203
Main Sub1	0.7543	Packing Sub 2	0.2914
Main Sub2	0.8067	Packing Sub 2	0.2881
Main공정1	0.7423	Packing공정1	0.9974
Main공정2	0.8605	Packing공정2	0.5969
Main공정3	0.7334	Packing공정3	0.6380
		Packing공정4	0.4656



[그림 2] 기존공정 모델링

기존 공정은 크게 두 가지의 문제점이 존재하는 것을 알 수 있다. 하나는 공정별 공정균형(line balancing)이 이루어지지 않았다는 것이고 또 하나는 전체적으로 볼 때 작업자의 작업 효율성에 문제가 있다는 것이다.

- 작업인원을 약 50% 증원한다.
- 증원한 작업인원 50%를 B라인에 배치시킨다.
- 기존공정과 달리 동시에 2개의 라인에서 생산이 가능하도록 하며 2개의 라인에서 모든 제품을 생산가능

3.3 공정 개선안 설계

본 연구에서는 디지털 도어록 공정의 개선안을 도출하는데 있어서의 대안을 선정하기 위해 해당업체 관계자들을 면담한 결과를 토대로 경험적 대안을 수립하고 이에 대해 시뮬레이션을 실시하기로 한다[4].

디지털 도어록 공정에 대한 개선안의 조건은 생산량의 수요변동에도 불구하고 생산량을 2배로 늘일 수 있는 가장 경제적인 생산방식을 설계하는 것이다.

이를 바탕으로 다음과 같이 대안을 수립하기로 한다.

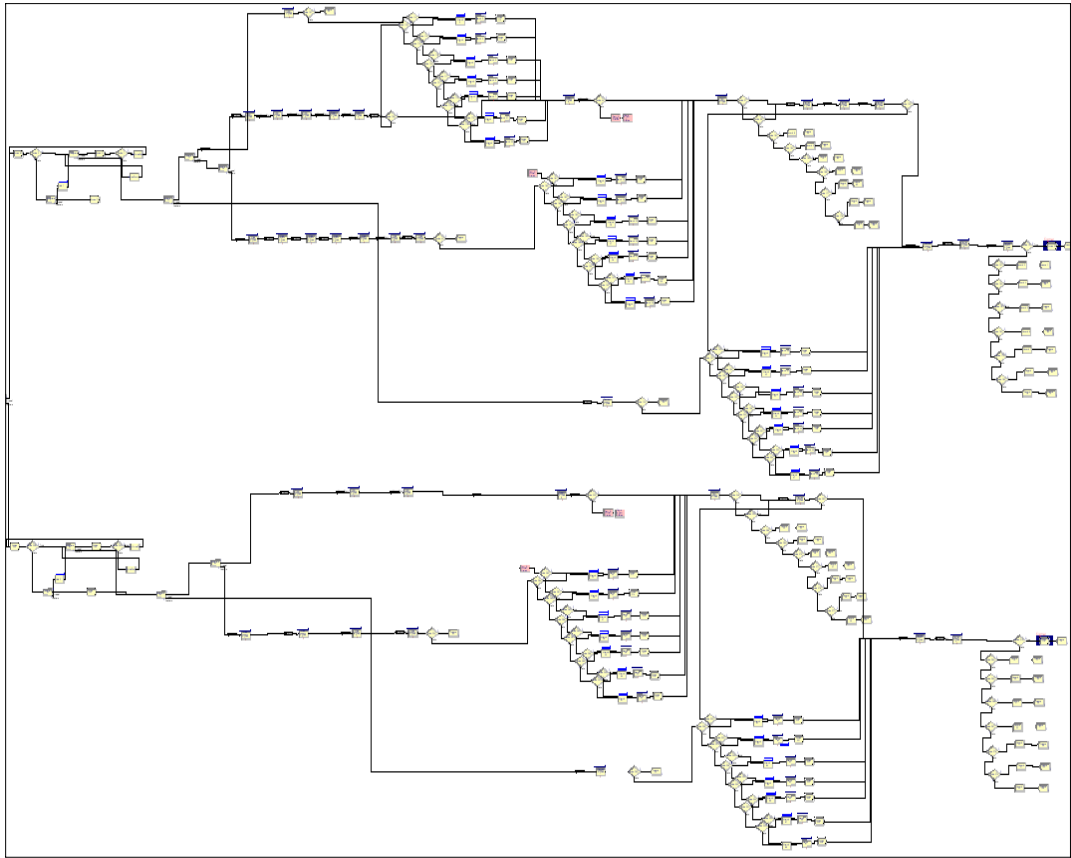
- 대안 1
- 작업인원을 100% 증원한다.
- 기존공정에 대해 작업효율성에 문제가 있는 공정에 대해 라인밸런싱을 통한 공정개선을 실시하며 시뮬레이션에 반영한다.
- 100% 증원한 작업자를 2개조로 나누어서 24시간 작업을 수행한다.
- 대안2

3.4 대안별 시뮬레이션 결과

그림3은 대안2에 대해 모듈별로 개발한 시뮬레이션 모델이다. 그림3을 보면 생산라인 자체는 기존의 공정과 그리 다르지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나 라인 밸런싱에 의한 공정 개선, 생산제품의 차이 등으로 인해 모델링이 변화된 것을 알 수 있다. 또한 대안 1, 2에 대해 수행한 시뮬레이션 결과를 기존공정의 시뮬레이션 결과와 비교하고 이를 요약하여 정리한 결과는 표2와 같다.

[표 2] 대안별 시뮬레이션 결과 요약

구 분	기존공정	대안 1	대안 2
생 산 량	23733	51294	46604
공 정 수	A라인 25	A라인 24	A라인 24
	B라인 25	B라인 24	B라인 13
작 업 인 원	25	48	37
가동률	0.71	0.78	0.77
기존공정과 의 차	.	생산량 2.16배	생산량 1.96배
	.	공정수 동일	공정수 0.74배
	.	작업인원 1.92배	작업인원 1.48배



[그림 3] 대안2 모델링

현 공정의 월간 생산량을 보면 기존공정의 경우 23,733개에 비해 대안1은 51,294개, 대안2는 46,604개로써 2개의 대안 모두 원래 목표인 생산량 2배를 거의 달성하는 것으로 나타났다.

공정별 가동률은 기존공정 0.71, 대안1 0.78, 대안2 0.77로서 대안1,2의 경우, 기존공정에 대해 약간의 최적화를 실시하였기 때문에 약간의 개선효과는 있지만 기본적으로 큰 차이는 보이지 않는다.

그러나 근본적으로 대안1과 대안2의 차이는 투입된 작업자의 수이다. 즉 대안1은 기존 작업자의2배에 가까운 48명이 투입되었으며, 대안2는 기존공정보다 48%증가한 37명이 투입되었다. 즉, 대안2는 대안1과 비교하여 투입된 작업자의 수가 적었음에도 불구하고 가동률, 생산량에 있어서 커다란 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있는데 이것은 바로 대안2의 생산설계방식의 유효성을 나타내는 것으로 이해할 수 있다. 구체적으로 대안2 설계방식의 유효성은 B라인에 대한 공정설계방식의 유효성으로 볼 수 있는데 이것은 기존의 디지털 도어록 생산 공정의

효율화를 위해 향후 기존 공정에 대해 개선의 여지가 크다는 것을 시사한다.

3.5 민감도분석

디지털 도어록은 다품종 소량생산방식에 의해 생산되는데 제품의 특징상 수요의 변동이 매우 크다. 따라서 대안2의 생산방식이 수요의 변동을 어느 정도 흡수 가능한가를 판단할 필요가 있다. 특히 수요의 변동은 특정 제품에 대한 수요가 급증하는 방식으로 변화하는 경우가 많다. 이를 위해 기존의 월별 생산량의 수요변동에 대한 경우의 수를 12가지로 구성하여(6개 제품군, 수요변화를 50% 또는 100% 증가) 이에 대해 민감도분석을 실시하였다.

이 결과를 정리하면 표3과 같다. 민감도분석 결과, 모든 경우의 수에 대해 $\pm 10\%$ 의 변화를 나타내며 이는 대안2가 월별 생산량 변화에도 불구하고 생산량 2배라는 기존의 목표를 충족하는 생산방식이라는 것을 보여준다.

[표 3] 민감도 분석 결과

구 분	월 생산량	제 품 명	변 화 량	총생산량
민감도분석1	46604	G7	50% 증가	46086
민감도분석2			100% 증가	45895
민감도분석3		G3	50% 증가	47438
민감도분석4			100% 증가	47661
민감도분석5		XP, Prav2	500% 증가	47478
민감도분석6			1000% 증가	47111
민감도분석7		Prav	500% 증가	46684
민감도분석8			1000% 증가	46512
민감도분석9		Mb740	500% 증가	46724
민감도분석10			1000% 증가	45875
민감도분석11		Smart	500% 증가	4441
민감도분석12			1000% 증가	42001

3.6 경제성 분석 및 토의

2개의 대안공정에 대해 경제성을 평가하기 위한 척도로서 비용적인 측면과 생산성 측면으로 평가하기로 하였다. 우선 생산성 측면으로는 생산량과 가동률로 평가할 수 있는데 전술한 것처럼 대안1과 대안2는 생산성 측면에서 유사한 결과가 관측된 바 있다. 비용적인 측면으로는 시설투자비, 인건비 등의 경비로 평가하기로 하였다.

대안1의 경우, 기존공정에 비해 24명의 추가투입이 필요한데 이를 연간 인건비로 환산하면 748,800천원이 소요된다. 대안2의 경우, 기존공정에 비해 12명의 추가투입이 필요하며 이를 연간 인건비로 환산하면 288,800천원이 소요된다. 대안1이 대안2보다 인건비 비중이 높은 이유는 야간작업에 따른 추가비용이 발생하기 때문이다. 또한 대안2의 경우에는 라인B의 최적화를 위해 약 5억의 시설투자비가 필요한데 이를 5년 감가상각비를 적용하면 연간 1억의 투자비용이 발생한다. 대안2의 총비용 합계를 계산해보면 388,000천원이다. 따라서 대안2는 대안1에 비해 연간 약 3억6천만원의 비용절감효과가 있는 것으로 평가할 수 있다.

따라서 본 연구에서 제안한 대안2는 대안1에 비해 생산성측면에서도 우월하고, 민감도 분석을 통한 결과 수요의 변동에도 어느 정도 대응할 수 있고, 동시에 비용 측

면에서도 우수한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 디지털 도어록 생산공정에 대한 시물레이션 모델링을 통해 공정 생산성을 높이기 위한 개선안에 대해 논하였다. 이와 같은 시물레이션 모델링을 디지털 도어록 공정에 대한 일반화를 이루기 위해서는 다음과 같은 사항에 대한 고려가 추가적으로 필요하다.

첫째는 제품 구성의 차이이다. 일반적으로 디지털 도어록 제품은 매우 다양한데 이러한 제품의 차이는 필연적으로 공정 구성의 차이로서 나타나게 된다. 따라서 시물레이션 모델링에 있어서도 공정상의 차이를 치밀하게 반영한 모델링이 설계되어야 한다.

둘째는 본 연구에서는 생산방식설계에 있어서 라인별 혼류 방식을 택하였다. 그러나 수요량이 기하급수적으로 늘어난다면 혼류방식이 라인별 제품생산방식보다 경제적이라는 보장을 할 수 없으며 별개의 시물레이션 연구가 수반되어야 한다.

본 연구에서는 대안 설계에 있어서 해당업체의 의견을 일차적으로 수렴하고 이를 토대로 대안을 수립하였다. 이러한 방법론은 나름대로 대안평가를 용이하게 할 수 있다는 장점은 있지만 고려할 수 있는 대안을 상대적으로 줄이는 결과도 초래할 수 있다.

따라서 이와 같은 점을 보완하기 위해서는 이론적인 대안을 구성하고 대안별 적정수준을 고려하여 시물레이션 수를 통계적으로 설계함으로써 시물레이션 실행의 최적화를 시도하는 것이 바람직하다고 본다.

4. 결론

본 연구에서는 디지털 도어록 혼류 생산공정을 분석할 수 있는 시물레이션 모델을 개발하였다. 이를 위해 디지털 도어록 생산공정을 분석하고 동시에 시간연구를 수행하였으며, 시물레이션에 사용한 데이터는 가급적 기존 공정의 데이터를 사용하는 것을 바탕으로 하였다. 이러한 방법론을 도입함으로써 해당업체의 디지털 도어록 생산공정을 반영하기 위한 충분한 기초 데이터의 확보가 가능하게 되었다. 따라서 시물레이션 모델이 설득력을 얻을 수 있게 되었다고 평가한다.

시물레이션 결과, 현재의 공정은 첫째, 수요의 변동이 큰 경우, 둘째, 다품종의 수요를 충족시켜야 하는 경우, 최적의 생산성을 확보하지 못하고 있다는 것을 확인하였다. 따라서 디지털 도어록 생산공정의 생산성을 높이기 위해서는 라인의 재설계 등 기존의 방식을 변화시키는 생산방식이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 이것은 기업 입장에서는 새로운 투자 요인이 되므로 기업에서는 이에

대한 충분한 경제성 분석이 수반되어야 하겠다.

본 연구에서 개발한 모델을 바탕으로 연구를 더 확장하여 생산량 증가에 따른 혼류방식에 대한 라인별 생산으로의 전환, 제품 불량, 투입요소의 변동(작업자 등) 등을 반영하는 시뮬레이션 모델을 개발하는 등 향후 지속적인 발전이 이루어지길 기대한다.

참고문헌

- [1] 김기영 외, “주문형 반도체 웨이퍼 공정분석을 위한 시뮬레이션 연구”, IE Interface, 제18권, 제1호, pp. 22-34, 2005
- [2] 문덕희 외, “자동차 공자의 Painted Body Storage 운영에 관한 시뮬레이션 연구”, IE Interface, 제18권, 제2호, pp. 136-147, 2005
- [3] 문일경 외 역, Arena를 이용한 시뮬레이션 3E, 교보문고, 2005
- [4] 윤철호 “LED 공정분석을 위한 시뮬레이션 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제8권, 제4호, pp. 924-929, 2007
- [5] 이경근 외, “시뮬레이션을 이용한 중소 신발 생산 기업의 생산시스템 개선방안 연구”, IE Interface, 제18권, 제1호, pp. 35-43, 2005
- [6] M. E. Mundel, D. Danner, Motion and Time Study, Prentice Hall, 7th Ed. 1994

윤 철 호(Cheol-Ho Yoon) [정회원]



- 1979년 2월 : 한양대학교 자원공학과 (공학사)
- 1985년 3월 : 동경공대 산업공학과 (공학석사)
- 1988년 3월 : 동경공대 산업공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 1994년 2월 : 한국전산원 책임연구원
- 1994년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 산업경영공학과 교수

<관심분야>

인간공학 작업관리 공정분석 6시그마 사용자인터페이스

이 인 철(In-Cheol Lee) [준회원]



- 2008년 2월 : 선문대학교 지식정보산업공학과 졸업

유 기 훈(Ki-Hoon Ryu) [준회원]



- 2008년 2월 : 선문대학교 지식정보산업공학과 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 대학원 산업공학과 재학

변 의 석(Eui-Seok Byun) [정회원]



- 1986년 2월 : 한양대학교 산업공학과 (공학사)
- 1988년 5월 : University of Pennsylvania 시스템공학 (공학석사)
- 1993년 12월 : 미국Lehigh University 산업공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 산업경영공학과 교수

<관심분야>

물류정보 통합생산